

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-134524

(P2002-134524A)

(43)公開日 平成14年5月10日(2002.5.10)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/331		C 3 0 B 29/44	4 G 0 7 7
29/73		H 0 1 L 21/205	5 F 0 0 3
C 3 0 B 29/44		29/205	5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/205		29/72	5 F 1 0 2
29/205		29/80	H
審査請求 有 請求項の数5 OL (全 7 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2000-326631(P2000-326631)

(22)出願日 平成12年10月26日(2000.10.26)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 小林 隆

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100081259

弁理士 高山 道夫 (外1名)

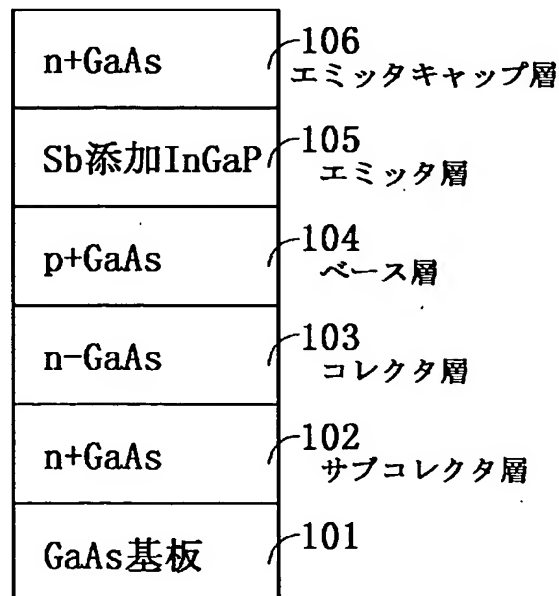
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 化合物半導体薄膜結晶

(57)【要約】

【課題】 デバイス特性のばらつき、歩留まり低下の原因となるInGaP層のorder/disorder構造の影響を無視でき、常に一定のバンドギャップの値を有するInGaP層を化合物半導体薄膜結晶の構成要素とすること。

【解決手段】 半絶縁性のGaAs基板101上に高濃度n型不純物であるシリコン(Si)を添加したn+GaAs結晶からなるサブコレクタ層102と低濃度n型不純物(Si)を添加したn-GaAs結晶からなるコレクタ層103と高濃度p型不純物カーボン(C)を添加したp+GaAs結晶からなるベース層104を成長させた後、Sbが 5×10^{18} atoms/cm³ 濃度含み、かつ低濃度n型不純物(Si)を含んだSb添加InGaPからなるエミッタ層105と高濃度n型不純物(Si)を添加したn+GaAs結晶からなるエミッタキャップ層106からなる化合物半導体薄膜結晶である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造の化合物半導体薄膜結晶において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で 10^{17} atoms/cm³以上の濃度範囲のアンチモン(Sb)が含まれていることを特徴とする化合物半導体薄膜結晶。

【請求項2】 GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造の化合物半導体薄膜結晶において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で 10^{17} atoms/cm³以上の濃度範囲のテルル(Te)が含まれていることを特徴とする化合物半導体薄膜結晶。

【請求項3】 GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造の化合物半導体薄膜結晶において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で 10^{17} atoms/cm³以上の濃度範囲のビスマス(Bi)が含まれていることを特徴とする化合物半導体薄膜結晶。

【請求項4】 GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造の化合物半導体薄膜結晶において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で 10^{17} atoms/cm³以上の濃度範囲のヒ素(As)が含まれていることを特徴とする化合物半導体薄膜結晶。

【請求項5】 GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造の化合物半導体薄膜結晶において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で 10^{17} atoms/cm³以上の濃度範囲のアンチモン(Sb)、テルル(Te)、ビスマス(Bi)、ヒ素(As)、のうち2種類以上の元素が含まれていることを特徴とする化合物半導体薄膜結晶。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高速電子トランジスタであるヘテロ接合バイポーラトランジスタ等に用いられる化合物半導体薄膜結晶に関する。

【0002】

【従来の技術】III-V族化合物半導体からなるヘテロ接合型バイポーラトランジスタ(以下、HBTという)は、ベース層よりもエネルギーバンドギャップが大きいエミッタ層を用いることが大きな特徴になっている。さらに高耐圧等が要求される場合に、コレクタ層にもエネルギーバンドギャップが大きい化合物半導体層を用いることも良く知られている。

【0003】HBTの代表的な例として、ベース層がGaAs層で、エミッタ材料がGaAs基板に格子整合するAlGaAsもしくはInGaPであるAlGaAs/GaAs系もしくはInGaP/GaAs系が一般的である。両者においてInGaP/GaAsヘテロ接合

は、AlGaAs/GaAsヘテロ接合に比較して以下のような特徴がある。

【0004】(1)InGaPとGaAsの選択ウェットエッチングが可能であるため、デバイス作製が容易である、(2)V族元素がヘテロ接合を境にAsとPに分かれるためにエミッタ/ベース界面における価電子帯の不連続 ΔE_v が大きい、(3)酸素と反応しやすいAlを含まないために高純度の半導体層が得られDXセンター(酸素不純物や結晶欠陥に起因して発生すると考えられているAlGaAs混晶に特有に観測されるディープレベル(深い準位))などの深いドナー不純物準位が無い、(4)ヘテロ接合界面での再結合速度が低く、またInGaP表面も安定である、(5)InGaPはGaAsやAlGaAsに比較して衝突イオン化率が低い、などの特徴が挙げられるが、特に、HBTへの応用を考慮した場合、前記(1)と(2)のメリットは大きい。

【0005】例えば、エミッタ/ベース電極間の表面保護用の半導体層厚は、デバイス信頼性に直接関係するために高精度の制御が要求されている。この場合、フッ酸系あるいはアンモニア系エッチング液ではGaAsのみが、塩酸・リン酸混合系エッチング液ではInGaPのみが選択的にエッチングされ、その選択比は1000以上であるため、半導体層厚の加工制御が容易になり、素子特性のばらつきが抑制され信頼性も改善される。また、エミッタ/ベース接合界面での価電子バンドの不連続が大きいためにホールのエミッタへの逆注入が抑制されるためにベースの高濃度・薄層化が可能となり素子の高性能化に有利となることや、HBTの温度特性にも良い影響を及ぼす。

【0006】例えば、温度が上がるほどホールの逆注入量が増加し、電流利得 β は低下する傾向にあるが、 ΔE_v が大きいと β の温度変化は少なくなり、HBTをパワー素子として用いる場合に特に有利となる。InGaP/GaAs系HBTは、このような数々のメリットを有するために、最近その応用範囲が拡大されつつあり、P系材料の成長に有利な有機金属気相成長(MOCVD)法による量産化の検討も盛んに行われている。

【0007】しかしながら、InGaP混晶層は、order/disorder(規則/不規則)構造を示す混晶系であり、この現象によって、GaAs基板に格子整合するInGaPのバンドギャップエネルギー E_g が1.83eVから1.916eVの範囲で変化してしまう。液相成長法の場合は、このような規則構造は現出せず、バンドギャップは1.916eVと一定値を示すことが知られているが、HBTエビの量産技術として期待されるMOCVD成長の場合には、成長温度やIII族/V族の原料ガス流量比に依存してorder構造からdisorder構造へ、もしくは両者の混在する構造に変化することが知られている。

【0008】図8には一例として成長温度によるバンド

ギャップの変化を示している。図に示すように、成長温度の相違によって、バンドギャップの値が変化することがわかる。

【0009】この構造の相違に起因するバンドギャップの違いは、InGaP/GaAsヘテロ接合では主に伝導帯不連続 ΔE_c に反映され、0.108eVから0.198eVへと変動する。 ΔE_c のHBTへの影響は、コレクター電流-電圧特性に現れる。HBTでは、コレクター電流-電圧特性はオフセット $V_{ce, offset}$ を有しており、 $V_{ce, offset}$ 以下のコレクター電圧ではコレクター電圧は負の値を持つ。この $V_{ce, offset}$ はエミッタ・ベースダイオードとコレクター・ベースダイオードの順方向立ち上がり電圧の差によって生じる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従って、ウエハ面内で規則/不規則構造のばらつきが存在すれば、この $V_{ce, offset}$ 電圧のばらつきにつながり、牽いては素子特性歩留まり低下を招来しかねない問題となる。今後、HBT用薄膜結晶の量産化をにらんで、大口径ウエハを用いた複数枚同時成長装置でInGaP/GaAs系HBTエビウエハを製造する場合、その均一性・再現性を確保することが必須となるが、上述した成長条件のばらつきによるInGaP構造の不均一性に起因して ΔE_c が変動するという問題が生じる。

【0011】本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、MOCVD法によって化合物半導体薄膜結晶を成長する際に、デバイス特性のばらつき、歩留まり低下の原因となるInGaP層のorder/disorder構造の影響を無視でき、常に一定のバンドギャップの値を有するInGaP層を構成要素とする化合物半導体薄膜結晶を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明は、GaAs/InGaP系化合物半導体エビ層において、その構成層であるInGaP層には、アンチモン、テルル、ビスマス、ヒ素の不純物元素のうちいずれか1種もしくは2種以上の元素をそれぞれ原子濃度で $10^{17}/\text{cm}^3$ 以上の濃度範囲で添加されている。この不純物元素が添加されていることにより、InGaP層成長時の成長温度やV/III比等の成長条件に依存することなく、エミッタベース界面において常に一定の ΔE_c や ΔE_v の値を有する化合物半導体薄膜結晶が得られることになる。

【0013】本発明では、InGaP層を用いる電子デバイスとしてHBTのみに限定して説明しているが、InGaP層を含んだGaAs系FET（電界効果トランジスタ）用薄膜結晶にも適用できることは明白であり、特にInGaP層をキャリア供給層として用いるHEMT（高電子移動度トランジスタ）構造においては、電子

走行層との伝導帯不連続 ΔE_c の均一性が重要となることから、本発明の主旨を逸脱しない範囲で適用できることは明らかである。

【0014】

【発明の実施の形態】上記課題を解決するために本発明の化合物半導体薄膜結晶は、GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で $10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上の濃度範囲のアンチモン（Sb）が含まれていることに特徴を有している。

【0015】また、本発明の化合物半導体薄膜結晶は、GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で $10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上の濃度範囲のテルル（Te）が含まれていることに特徴を有している。

【0016】さらに、本発明の化合物半導体薄膜結晶は、GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で $10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上の濃度範囲のビスマス（Bi）が含まれていることに特徴を有している。

【0017】また、本発明の化合物半導体薄膜結晶は、GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で $10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上の濃度範囲のヒ素（As）が含まれていることに特徴を有している。

【0018】さらに、本発明の化合物半導体薄膜結晶は、GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で $10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上の濃度範囲のアンチモン（Sb）、テルル（Te）、ビスマス（Bi）、ヒ素（As）、のうち2種類以上の元素が含まれていることに特徴を有している。

【0019】

【実施例】以下の実施例では、化合物半導体薄膜結晶としてヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の薄膜結晶を用いた。

（実施例1）以下、本発明の一実施例を図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施例1におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。すなわち半絶縁性のGaAs基板101上に高濃度n型不純物であるシリコン（Si）を添加したn+GaAs結晶からなるサブコレクタ層102と低濃度n型不純物（Si）を添加したn-GaAs結晶からなるコレクタ層103と高濃度p型不純物カーボン（C）を添加したp+GaAs結晶からなるベース層104を成長させた後、アンチモン（Sb）が $5 \times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 濃度含み、かつ低濃度n型不純物（Si）を

含んだSb添加InGaPからなるエミッタ層105と高濃度n型不純物(Si)を添加したn+GaAs結晶からなるエミッタキャップ層106を成長させた時の典型的なHBT層構造を示している。

【0020】図2には図1に示した構造のSb添加InGaP層をフォトルミネッセンス法により測定したバンドギャップの面内分布を示している。また、比較のために同一成長装置を用い、かつInGaP層へのSb添加以外は同一成長条件にて成長させた構造からのInGaP層のバンドギャップの面内分布を点線で示している。図から明らかなように、Sbを添加したInGaPでのバンドギャップ面内分布は±0.1%未満であるのに対し、Sbを添加しない構造では±3%と大きな変動を示しており、本発明による効果が如実に示されている。

【0021】図3には、図1に示した構造におけるInGaPのバンドギャップ値の成長回数毎のばらつきを示しているが、50回の成長においても±0.2%未満に抑えられており、本発明の効果が顕著に現れていることがわかった。なお、本実施例では、Sbの濃度が $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の場合を示したが、少なくとも濃度が $10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であれば、同様の効果が得られる。

【0022】〔実施例2〕図4は、本発明の実施例2におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。InGaP層にテルル(Te)を $3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 濃度添加したTe添加InGaPからなるエミッタ層107を有するHBTエビの層構造を示している。TeはInGaP層においてn型不純物として作用するために、実施例1とは異なり、Siを添加する必要が無い。図に示した構造のTe添加InGaP層のバンドギャップ値をフォトルミネッセンス法により測定した。バンドギャップの面内におけるばらつきは、±1%程度であった。実施例1と比較してばらつきが大きいのは、これはTe添加量が少ないことに起因していると考えられる。Teの場合は、上述したようにn型不純物として作用するために、その添加量はデバイス設計・特性に制約されるという問題がある。

【0023】〔実施例3〕図5は、本発明の実施例3におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。ビスマス(Bi)が $3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 濃度含まれるBi添加InGaPからなるエミッタ層108を含むHBTエビの層構造を示している。図に示した構造のBi添加InGaPのバンドギャップ値をフォトルミネッセンス法によって測定した。バンドギャップの面内におけるばらつきは、±0.1%程度であり、実施例1で説明した図2の結果を再現しており、Bi添加の効果も確認された。なお、本実施例では、Biが $3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の場合を示したが、少なくとも濃度が $10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であれば、同様の効果が得られる。

【0024】〔実施例4〕図6は、本発明の実施例4におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。ヒ素(As)が $3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 濃度含まれるAs添加InGaPからなるエミッタ層109を含むHBTエビの層構造を示している。図に示した構造のAs添加InGaPのバンドギャップ値をフォトルミネッセンス法によって測定した。バンドギャップの面内におけるばらつきは、±0.1%程度であり、実施例1で説明した図2の結果を再現しており、As添加の効果も確認された。なお、本実施例では、Asが $3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の場合を示したが、少なくとも濃度が $10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であれば、同様の効果が得られる。

【0025】〔実施例5〕図7は、本発明の実施例5におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。Teが $3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 濃度含まれ、かつSbが $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 濃度含まれるTe+Sb添加InGaPからなるエミッタ層110を含むHBTエビの層構造を示している。図に示した構造のTe+Sb添加InGaPのバンドギャップ値をフォトルミネッセンス法によって測定した。バンドギャップの面内におけるばらつきは、±0.1%程度であり、実施例1で説明した図2の結果を再現し、Te・Sb同時添加の効果も確認された。本実施例では、Sbと、Teを組み合わせた場合を説明しているが、Sb、Te、Bi、Asの4元素のうち、2種類以上の元素との組み合わせにおいても同様の効果が得られている。

【0026】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の化合物半導体薄膜結晶は、GaAs基板上に積層されたInGaP混晶を含む多層構造において、少なくとも一層以上の前記InGaP混晶層中に、原子濃度で $10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の濃度範囲のSb、Te、Bi、Asのうちの1種類の元素、あるいは、これらのうち2種類以上の元素が含まれているので、電子デバイス特性のばらつき要因の一つとなるInGaP層のバンドギャップエネルギーの値をウエハ面内で均一に、かつ、ウエハ間においてもばらつきを低減させた再現性の良好な化合物半導体薄膜結晶を提供できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。

【図2】図1に示した構造のSb添加InGaP層をフォトルミネッセンス法により測定したバンドギャップの面内分布を示す図である。

【図3】図1に示した構造のSb添加InGaP層における成長回数毎のバンドギャップ値のばらつきを示す図である。

【図4】本発明の実施例2におけるヘテロ接合バイポーラ

ラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。

【図5】本発明の実施例3におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。

【図6】本発明の実施例4におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。

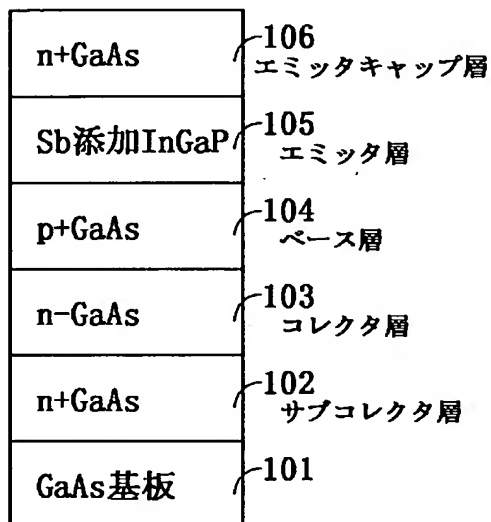
【図7】本発明の実施例5におけるヘテロ接合バイポーラトランジスタ用薄膜結晶の層構造を示す図である。

【図8】InGaPにおけるバンドギャップ値と成長温度の関係を示した図である。

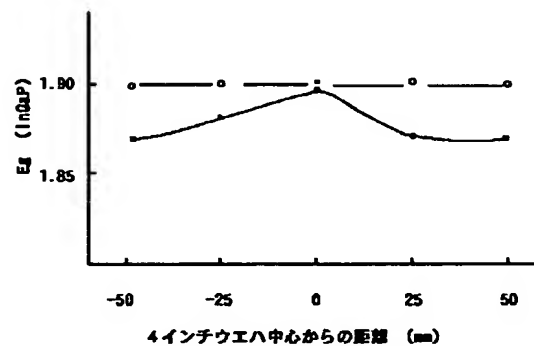
【符号の説明】

- 101 GaAs基板
 102 n+GaAs (サブコレクタ層)
 103 n-GaAs (コレクタ層)
 104 p+GaAs (ベース層)
 105 Sb添加InGaP (エミッタ層)
 106 n+GaAs (エミッタキャップ層)
 107 Te添加InGaP (エミッタ層)
 108 Bi添加InGaP (エミッタ層)
 109 As添加InGaP (エミッタ層)
 110 Te+Sb添加InGaP (エミッタ層)

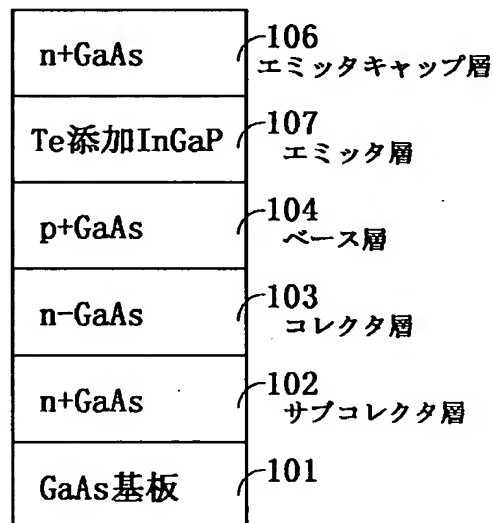
【図1】



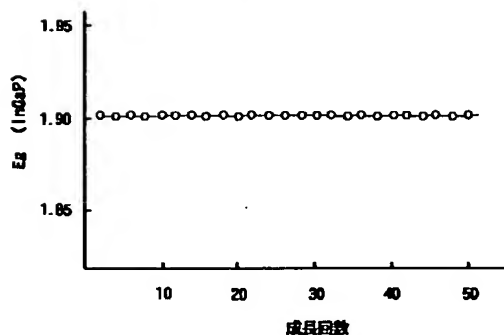
【図2】



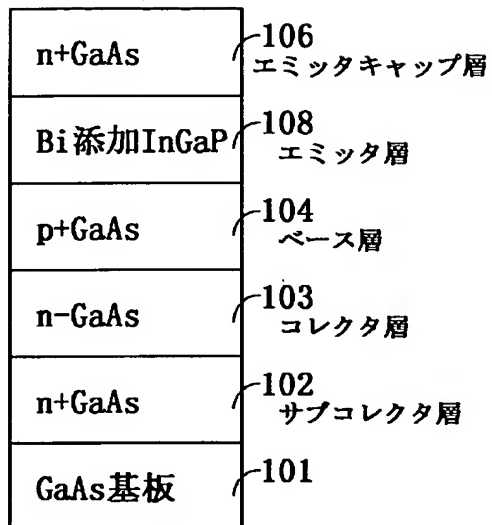
【図4】



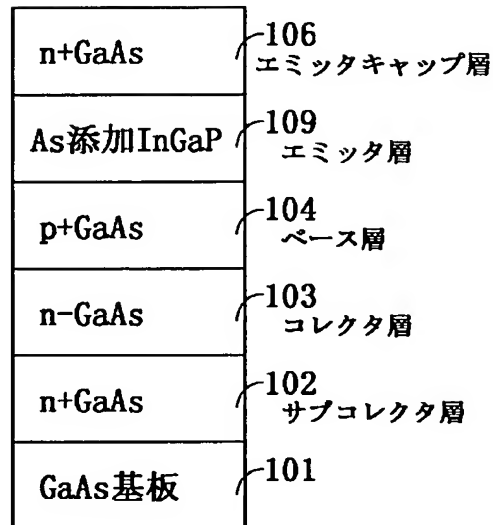
【図3】



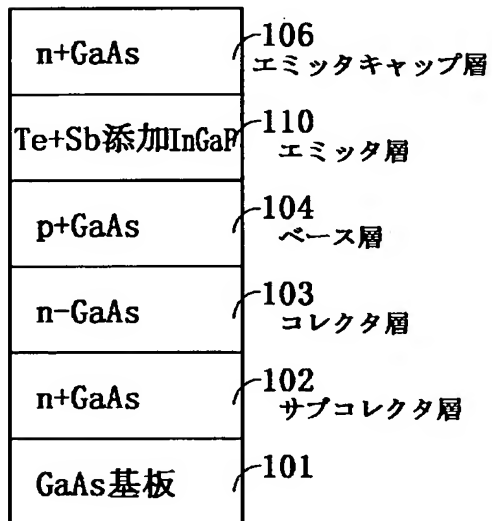
【図5】



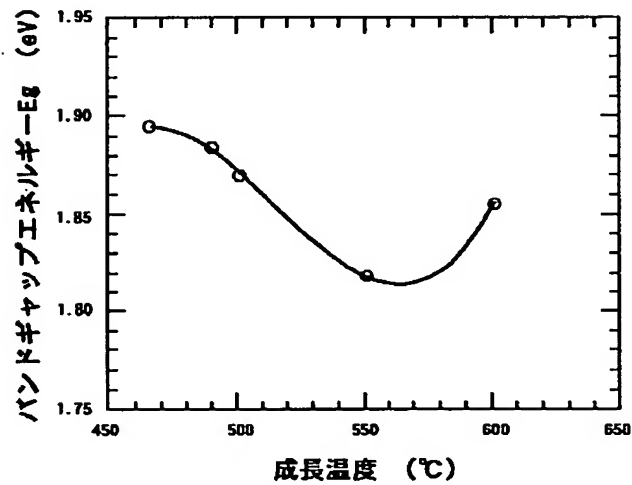
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

H01L 29/778
21/338
29/812

識別記号

F I

テマコード(参考)

Fターム(参考) 4G077 AA03 BE42 DB08 EB01 ED06
EF01
5F003 AZ07 AZ09 BB04 BE01 BE04
BF06 BM02 BM03 BP23 BP32
BZ03
5F045 AA04 AB17 AF04 BB04 BB16
CA02 CA07 DA52 DA59
5F102 GB01 GC01 GD01 GJ05 GL05
GM04 GM10 GQ01 HC01

grown on
a semi-insulating GaAs substrate 101. Further, an emitter layer 105
comprising
an Sb-added InGaP in which Sb is contained by 5×10^{18} atoms/cm³
with a
low-concentration p-type impurity (Si) also contained, and a emitter
cap layer
106 comprising an n+ GaAs crystal to which a high-concentration n-
type impurity
(Si) is added, are provided.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

DERWENT-ACC-NO: 2002-569044

DERWENT-WEEK: 200261

COPYRIGHT 2004 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Compound semiconductor thin film crystal for
heterojunction bipolar transistor, comprises
indium gallium phosphide mixed crystal layer
containing preset concentration of antimony laminated on gallium
arsenide substrate

PATENT-ASSIGNEE: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE CORP[NITE]

PRIORITY-DATA: 2000JP-0326631 (October 26, 2000)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
PAGES MAIN-IPC		
JP 2002134524 A	May 10, 2002	N/A
007 H01L 021/331		

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
JP2002134524A	N/A	2000JP-0326631
October 26, 2000		

INT-CL (IPC): C30B029/44, H01L021/205 , H01L021/331 , H01L021/338
,
H01L029/205 , H01L029/73 , H01L029/778 , H01L029/812

ABSTRACTED-PUB-NO: JP2002134524A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - The compound semiconductor thin film crystal of
multilayered
structure, contains indium gallium phosphide (InGaP) mixed crystal
layer
laminated on gallium arsenide (GaAs) substrate (101). The InGaP
mixed crystal
layer(s) contains 10¹⁷ atoms/cm³ or more of antimony (Sb).

DETAILED DESCRIPTION - The InGaP mixed crystal layer(s) contains two

or more
types of elements chosen from antimony, bismuth, tellurium and
arsenic, in the
concentration of 1017 atoms/cm3 or more.

USE - For heterojunction bipolar transistor, such as suprathreshold
electron
transistor.

ADVANTAGE - The indium gallium phosphide layer of the compound
semiconductor
thin film crystal has fixed band gap. Reduction in yield due to
dispersion in
device characteristics and disordered structure of InGaP layer, is
prevented.
The compound semiconductor thin film crystal has favorable
reproducibility.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the explanatory drawing
of the
layer structure of the thin film crystal for heterojunction bipolar
transistor.
(Drawing includes non-English language text).

Gallium arsenide substrate 101

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/8

TITLE-TERMS: COMPOUND SEMICONDUCTOR THIN FILM CRYSTAL HETEROJUNCTION
BIPOLAR

TRANSISTOR COMPRISE INDIUM GALLIUM PHOSPHIDE MIX CRYSTAL
LAYER
CONTAIN PRESET CONCENTRATE ANTIMONY LAMINATE GALLIUM
ARSENIDE
SUBSTRATE

DERWENT-CLASS: L03 U11 U12

CPI-CODES: L04-A02A3A; L04-A02B2; L04-E01D;

EPI-CODES: U11-C01B; U11-C18A2; U11-C18A3; U12-D01A; U12-D02B; U12-
D02D2;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C2002-161737

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2002-450531